

АНАЛИЗА ПРОТИЦАЈА И ВЕРОВАТНОЋЕ ПОЈАВЕ МАЛИХ И ВЕЛИКИХ ВОДА НА ЗЛОТСКОЈ РЕЦИ

Драгана Милијашевић Јоксимовић^{1*}

¹Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд, Србија

Сажетак: Злотска река је лева и највећа притока Црног Тимока. Извире на источним падинама Великог Крша на Кучају. У раду је статистичком анализом одређен средњи годишњи протицај, средње мале воде и средње велике воде на хидролошком профилу Злот на Злотској реци у периоду 1981–2015. године. На основу наведених података процењена је вероватноћа појаве минималних и максималних протицаја од 0.01 % до 99.9 %. За прорачун вероватноће појаве минималних и максималних годишњих протицаја коришћена је Pearson III расподела. Коефицијенти варијације максималних и минималних годишњих протицаја за Злотску реку указују на значајно колебање протицаја на хидролошком профилу Злот. Добијени резултати представљају основу за будућа хидролошка истраживања и водопривредно планирање у сливу.

Кључне речи: Злотска река, протицај, хидролошке прогнозе, велике воде, мале воде.

Original scientific paper

ANALYSIS OF THE FLOW AND PROBABILITY OF THE OCCURRENCE OF LOW AND HIGH WATER LEVELS ON THE ZLOTSKA RIVER

Dragana Milijašević Joksimović^{1*}

¹Geographical Institute “Jovan Cvijić” SASA, Belgrade, Serbia

Abstract: Zlotska River is the left and largest tributary of Crni Timok River. It springs on the eastern slopes of the Veliki Krš Mountain in Kučaj. In the paper, statistical analysis was used to determine the mean annual flow of medium-low water levels and medium-high water levels on the Zlot hydrological profile on the Zlotska River in the period from 1981 to 2015. Based on these data, the probability of occurrence of minimum and maximum flows was estimated from 0.01 % to 99.9 %. The Pearson III distribution was used to calculate the probability of occurrence of minimum and maximum annual flows. The coefficients of variation of the maximum and minimum annual flows for the Zlot River indicate a significant flow fluctuation on the Zlot hydrological profile. The obtained results represent the basis for future hydrological research and water management planning in the basin.

Keywords: Zlotska River, river flow, hydrological forecasts, low water levels, high water levels.

* Аутор за кореспонденцију: Драгана Милијашевић Јоксимовић, Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Ђуре Јакшића 9, 11000 Београд, Србија, Е-mail: d.milijasevic@gi.sanu.ac.rs
Corresponding author: Dragana Milijašević Joksimović, Geographical Institute “Jovan Cvijić” SASA, Ђуре Јакшића 9, 11000 Belgrade, Serbia, Е-mail: d.milijasevic@gi.sanu.ac.rs

УВОД

Злотска река је лева и највећа притока Црног Тимока (слив Дунава). Извире на источним падинама Великог Крша на Кучају. У доњем току тече источним подножјем Кучаја. Злотска река се улива у Црни Тимок око 5 km источно од Сумраковца, на 183 m н. в. Дужина тока је 30.5 km, а површина слива 279 km². Десна страна слива има развијенију речну мрежу што указује на асиметричан слив (Милијашевић, 2014). Хидролошка станица Злот ради од 1973. године, а њена удаљеност од ушћа реке је 13.5 km са ко- том „0“ осматрања на 252.5 m н. в.

У раду је одређен средњи годишњи протицај, средње мале воде и средње велике воде и на основу тих података процењена је вероватноћа појаве минималних и максималних протицаја.

У хидролошким проучавањима један од најважнијих задатака је процена величине протицаја и водостаја који се у будућности могу очекивати на неком хидролошком профилу, а на основу протицаја који су се већ догодили. Статистичка анализа вероватноће појаве карактеристичних протицаја на рекама била је предмет многих хидролошких проучавања (Basso et al., 2015; Vladojević et al., 2014; Bolgov & Korobkina, 2013; Гавриловић, 1988; Zhang et al., 2017; Katz et al., 2002; Лешчешен, 2019; Мартић Бурцаћ et al., 2016; Милијашевић, 2014; Saidi et al., 2020; Урошев et al., 2017).

Анализа учесталости минималних и максималних протицаја и поплава је од помоћи при доношењу одлука о извођењу хидротехничких радова као што су: насипи, канали, изградња брана, осигурање обала и др.

Велике воде су последица поводња, односно наглог издизања водостаја и повећање протицаја. Основни узроци настанка великих вода на рекама су интензивне и дуготрајне падавине које брзо формирају отицај са сливног подручја, као и нагло топљење снега (Лешчешен, 2019). Могу да представљају велики проблем за насеља, пољопривреду, индустрију и саобраћајнице. Значај проучавања великих вода лежи у чињеници да поплаве широм света изазивају велику материјалну штету, неретко са људским жртвама. Заштита квалитета вода и њихово рационално коришћење су под великим утицајем режима малих вода речних токова. Анализа малих вода важна је и за правилно димензионирање разних хидротехничких објеката.

INTRODUCTION

Zlotska River is the left and largest tributary of Crni Timok River (Danube basin). It springs on the eastern slopes of the Veliki Krš Mountain in Kučaj. In its lower course, it flows along the eastern foothills of Kučaj. The Zlotska River flows into the Crni Timok about 5 km east of Sumakovac, at 183 m above sea level. The length of the stream is 30.5 km, and the basin area is 279 km². The right side of the basin has a more developed river network, which indicates an asymmetric basin (Milijašević, 2014). The Zlot hydrological station has been operating since 1973, and its distance from the mouth of the river is 13.5 km with the observation elevation "0" at 252.5 m above sea level.

The paper determined the mean annual flow, low water levels and high water levels, and based on these data, the probability of minimum and maximum flow was estimated.

In hydrological studies, one of the most important tasks is to estimate the amount of flow and water level that can be expected in the future on a hydrological profile, based on the flows that have already occurred. Statistical analysis of the probability of occurrence of characteristic flows on rivers has been the subject of many hydrological studies (Basso et al., 2015; Vladojević et al., 2014; Bolgov & Korobkina, 2013; Гавриловић, 1988; Zhang et al., 2017; Katz et al., 2002; Лешчешен, 2019; Мартић Бурцаћ et al., 2016; Милијашевић, 2014; Saidi et al., 2020; Урошев et al., 2017).

The analysis of the frequency of minimum and maximum flows and floods is helpful when making decisions on the execution of hydrotechnical works such as: embankments, canals, construction of dams, bank protection, etc.

High water levels are the result of floods, i.e. a sudden rise in the water level and an increase in flow. The main causes of the occurrence of high water levels on rivers are intense and long-term precipitation that quickly forms runoff from the catchment area, as well as sudden melting of snow (Лешчешен, 2019). They can be a big problem for settlements, agriculture, industry and roads. The importance of studying high water levels lies in the fact that floods around the world cause great material damage, often with human casualties. The protection of water quality and their rational use are greatly influenced by the low water levels regime of river courses. The analysis of low water levels is also important for the correct dimensioning of various hydrotechnical facilities.

Циљ рада је да се уз помоћ постојећих података о максималним и минималним годишњим протицајима у периоду 1981–2015. године одреде вероватноће појаве истих од 0.01 % до 99.9 %. Резултати ће омогућити бољу процену изузетних догађаја у циљу бољег управљања њима и борбе против њихових утицаја. Проучавање карактеристика речног режима, малих и великих вода, поред теоријске, има и практичну вредност за хидролошка истраживања и водопривредно планирање у сливу.

МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

Подаци о протицају на хидролошком профилу Злот на Злотској реци у периоду 1981–2015. године (доступни у публикацији Републичког хидрометеоролошког завода Србије *Хидролошки годишњак – површинске воде*) анализирани су у виду просечних месечних и годишњих вредности, а велике и мале воде обрађене су и у виду вероватноћа, применом статистичких метода и одговарајућих расподела. Карактеристике режима приказане су и коментарисане у виду табеларних и графичких прилога. На основу података о екстремним протицајима урађена је прогноза обезбеђења воде у рекама. За прогнозу обезбеђења реке водом коришћен је метод серија, погодан за одређивање вероватноће појављивања одређеног хидролошког елемента (водостаја, протицаја и сл.). За израду криве честине великих и малих вода коришћена је Pearson функција III типа. Постоји већи број функција расподела које се користе за израчунавање вероватноће појаве малих, великих и средњих вода, али је често у употреби Pearson III расподела (Гавриловић, 1988; Gao et al., 2019; Ђокић, 2015; Ђокић et al., 2015; Милијашевић, 2010, 2014; Sun et al., 2018; Chen et al., 2019). Ова функција је погодна за примену јер је одређена само са два параметра (ако се изузме модулни коефицијент) – коефицијентом варијације и коефицијентом асиметрије (Гавриловић, 1988). Усвојен референтни протицај, односно просечни месечни и годишњи протицај, просечна велика вода и просечна мала вода, одређени су на основу обраде низа од 35 година осматрања, што је више од постављеног критеријума ($N \geq 25$) за примену Pearson III расподеле (Institution of Water and Environmental Management, 1987; Ристић et al., 2009).

The goal of the work, with the help of existing data on maximum and minimum annual flows in the 1981–2015 periods, is to determine the probability of their occurrence from 0.01 % to 99.9 %. The results will enable a better assessment of exceptional events in order to better manage them and mitigate their impacts. The study of the characteristics of the river regime, low and high water levels, in addition to theoretical, has practical value for hydrological research and water management planning in the basin.

DATA AND METHODS

Flow data on the Zlot hydrological profile on the Zlotska River in the period from 1981 to 2015 (available in the publication of the Republic Hydrometeorological Institute of Serbia *Hydrological Yearbook – Surface Waters*) were analyzed in the form of average monthly and annual values, and high and low water levels were also processed in the form of probabilities, using statistical methods and appropriate distributions. The characteristics are shown and commented in the tabular and graphical form. Based on data on extreme flows, a forecast of water supply in rivers was made. The series method, suitable for determining the probability of the occurrence of a certain hydrological element (water level, flow, etc.), was used for forecasting the supply of water to the river. The Pearson function of type III was used to create the curves of the high and low water level fractions. There are a number of distribution functions that are used to calculate the probability of the occurrence of low, high and medium water levels, but the Pearson III distribution is mostly used (Гавриловић, 1988; Gao et al., 2019; Ђокић, 2015; Ђокић et al., 2015; Милијашевић, 2010, 2014; Sun et al., 2018; Chen et al., 2019). This function is suitable for application because it is determined by only two parameters (if the modulus coefficient is excluded) – coefficient of variation and coefficient of asymmetry (Гавриловић, 1988). The adopted reference flow, i.e. the average monthly and annual flow, average high water and average low water, were determined based on the processing of a series of 35 years of observation, which is greater than the set criterion ($N \geq 25$) for the application of the Pearson III distribution (Institution of Water and Environmental Management, 1987; Ристић et al., 2009).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

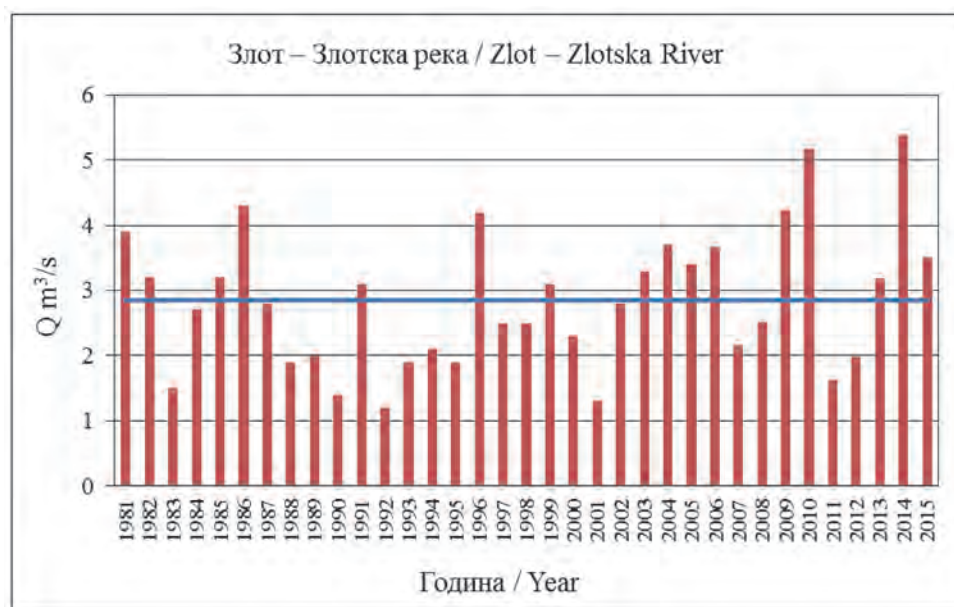
RESULTS AND DISCUSSION

Статистичка анализа средњих вода

Statistical Analysis of Medium Water Levels

На основу података о протицају Злотске реке у периоду 1981–2015. године, израчунати су средњи месечни и годишњи протицаји на хидролошком профилу Злот. Средњегодишњи протицај у анализираном периоду је $2.85 \text{ m}^3/\text{s}$. Хидрограм средњегодишњих протицаја на Злотској реци приказан је на Сл. 1. На основу њега можемо закључити да је минимални средњегодишњи протицај забележен 1992. године ($1.20 \text{ m}^3/\text{s}$), а максимални 2014. године ($5.39 \text{ m}^3/\text{s}$).

Based on data on the flow of the Zlotska River in the 1981–2015 periods, mean monthly and annual flows on the Zlot hydrological profile were calculated. The average annual flow in the analyzed period is $2.85 \text{ m}^3/\text{s}$. The hydrogram of the mean annual flows on the Zlotska River is shown in Fig. 1. Based on it, we can conclude that the minimum mean annual flow recorded in 1992 ($1.20 \text{ m}^3/\text{s}$), and the maximum in 2014 ($5.39 \text{ m}^3/\text{s}$).



Сл. 1. Средње годишње вредности протицаја Злотске реке на хидролошком профилу Злот у периоду 1981–2015. године (црвени стубови) и средњи годишњи протицај за испитивани период (плава линија)

Fig. 1. Mean annual flow values of the Zlotska River on the hydrological profile of Zlot for the 1981–2015 periods (red columns) and the mean annual flow for the examined period (blue line)

Време јављања највиших и најнижих средњемесечних протицаја на Злотској реци истоветно је кретању протицаја на Црном Тимоку (Милијашевић, 2014). Најмањи средњемесечни протицај је у августу ($0.49 \text{ m}^3/\text{s}$), а највећи у априлу ($8.37 \text{ m}^3/\text{s}$). У току летњих и јесењих месеци најмања количина падавина у сливу Црног Тимока и Злотске реке је у периоду од августа до октобра (Милијашевић, 2014), што условљава да се најмањи протицаји јављају у августу. На највиши протицај у марту и априлу утиче спорије и касније ота-

The time of occurrence of the highest and lowest mean monthly flows on the Zlotska River is identical to the flows on the Crni Timok (Милијашевић, 2014). The lowest average monthly flow is in August ($0.49 \text{ m}^3/\text{s}$), and the highest in April ($8.37 \text{ m}^3/\text{s}$). During the summer and autumn months, the lowest amount of precipitation in the Crni Timok and Zlotska River basin is in the period from August to October (Милијашевић, 2014), which means that the lowest flows occur in August. The highest flow in March and April is affected by the slower and

пање снежног покривача у највишим деловима Кућајских планина. Амплитуде протицаја показују да је максимални средњемесечни протицај већи од минималног 14.5 пута.

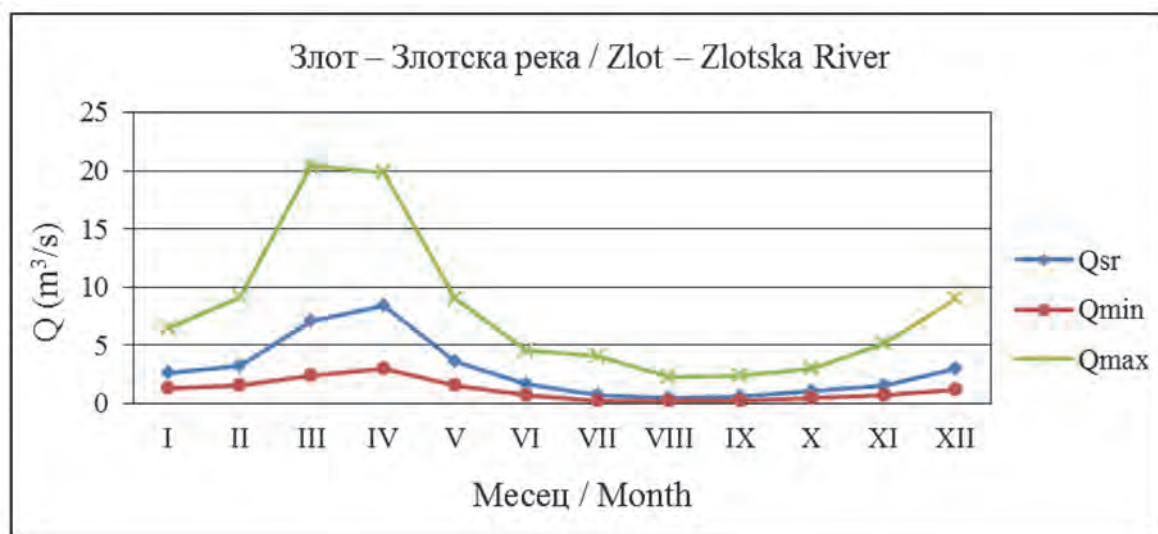
Статистичка анализа малих вода

Режим малих вода карактеришу најниже средњемесечне вредности у августу ($0.23 \text{ m}^3/\text{s}$), а највише у априлу ($3.02 \text{ m}^3/\text{s}$) (Сл. 2). Апсолутно минимални протицај код Злота регистрован је 06. августа 2013. године и износио је $0 \text{ m}^3/\text{s}$ (суво речно корито).

later melting of the snow cover in the highest parts of the Kučaj Mountains. Flow amplitudes show that the maximum mean monthly flow is 14.5 times higher than the minimum.

Statistical Analysis of Low Water Levels

The low water level regime is characterized by the lowest mean monthly values in August ($0.23 \text{ m}^3/\text{s}$), and the highest in April ($3.02 \text{ m}^3/\text{s}$) (Fig. 2). The absolute minimum flow at Zlot was registered on August 6, 2013, and it was $0 \text{ m}^3/\text{s}$ (dry river bed).



Сл. 2. Велике (Q_{\max}), средње (Q_{sr}) и мале (Q_{\min}) воде Злотске реке на хидролошком профилу Злот у периоду 1981–2015. године

Fig. 2. High (Q_{\max}), medium (Q_{sr}) and low (Q_{\min}) water levels of the Zlotska River on the hydrological profile Zlot for the 1981–2015 periods

Да би се конструисала крива вероватноће појаве малих вода Злотске реке код Злота било је потребно одредити следеће величине: просечни минимални протицај ($Q_{sr.\min}$), модулни коефицијент (k_s), коефицијент варијације (C_v) и коефицијент асиметрије (C_s). Користећи податке за период од 35 година (1981–2015) добијене су следеће вредности наведених параметара: $Q_{sr.\min}=0.18 \text{ m}^3/\text{s}$; $C_v=0.795$; $C_s=1.64$. Вредности модулног коефицијента су приказане у Таб. 1.

На основу ових параметара приступило се израчунавању података за израду саме криве. Израчунате су вероватне мале воде са различитим периодом појављивања, односно са различитом вероватноћом (Таб. 1) и приказане су графички кривом вероватноће појављивања минималних протицаја (Сл. 3). Подаци из Таб.

In order to construct the probability curve of the occurrence of low water levels of the Zlotska River near Zlot, it was necessary to determine the following quantities: average minimum flow ($Q_{sr.\min}$), module coefficient (k_s), variation coefficient (C_v) and asymmetry coefficient (C_s). Using data for a period of 35 years (1981–2015), the following values of the mentioned parameters were obtained: $Q_{sr.\min}=0.18 \text{ m}^3/\text{s}$; $C_v=0.795$; $C_s=1.64$. The values of the modulus coefficient are shown in Tab. 1.

Based on these parameters, the calculation of the data for the creation of the curve itself was started. Probable low water levels with different periods of occurrence, i.e. with different probability, were calculated (Tab. 1) and shown graphically by the probability curve of occurrence of minimum flows (Fig. 3). The data from Tab. 1 show that on

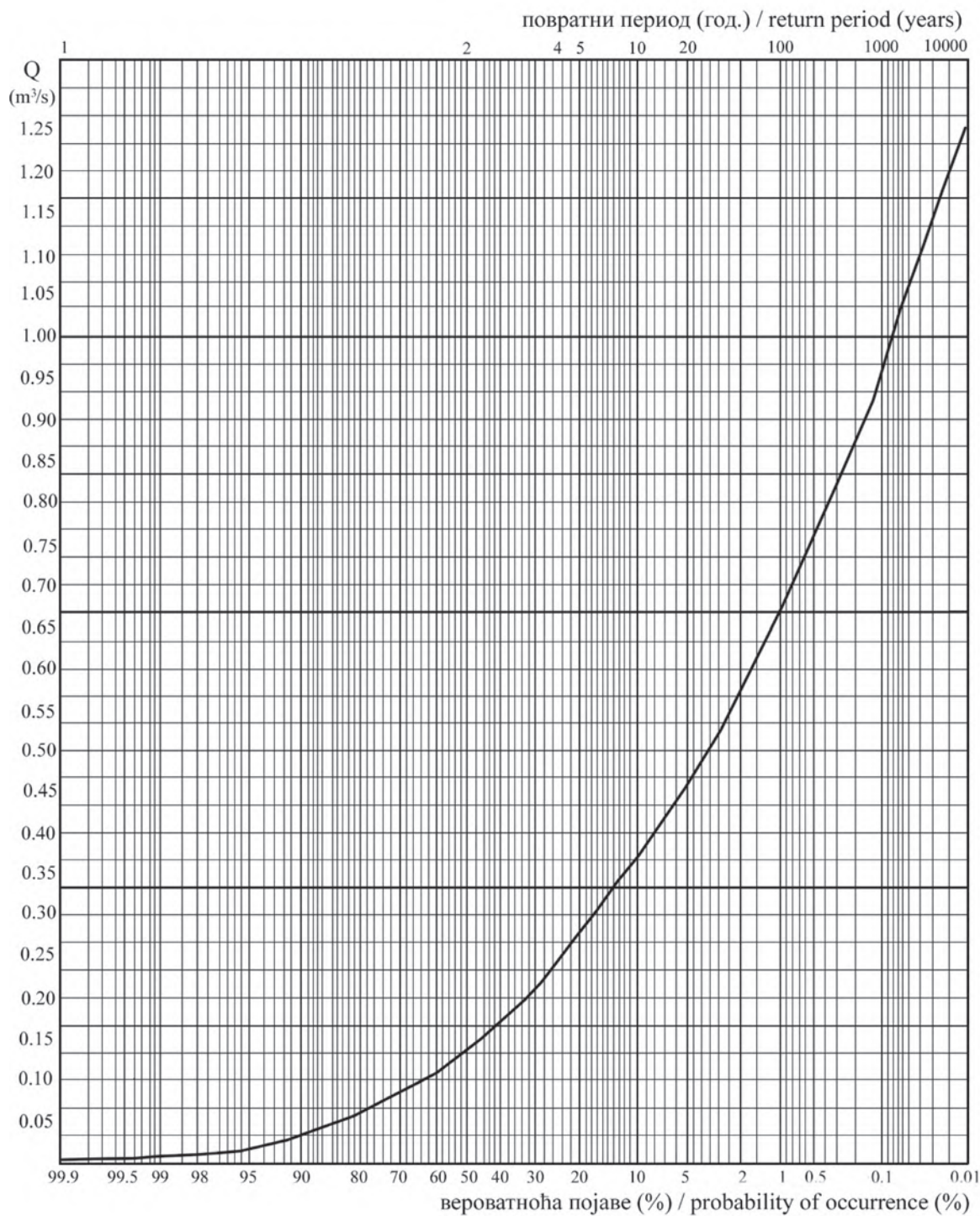
ДРАГАНА МИЛИЈАШЕВИЋ ЈОКСИМОВИЋ
DRAGANA MILIJAŠEVIĆ JOKSIMOVIĆ

Таб. 1. Параметри за израчунавање криве обезбеђења минималних годишњих протицаја и израчунати вероватни минимални протицај Злотске реке код Злота
Tab. 1. Parameters for calculating the minimum annual flow assurance curve and the calculated probable minimum flow of the Zlotska River near Zlot

Вероватноћа у % / Probability in %	Вероватноћа у годинама / Probability in years	\emptyset	$\emptyset \cdot C_v$	$k_s = \emptyset \cdot C_v + 1$	Q min
0.01	10000	7.42	5.92	6.92	1.25
0.1	1000	5.44	4.34	5.34	0.96
1	100	3.42	2.73	3.73	0.67
3	33.3	2.43	1.94	2.94	0.53
5	20	1.96	1.57	2.57	0.46
10	10	1.32	1.05	2.05	0.37
20	5	0.67	0.53	1.53	0.28
25	4	0.45	0.36	1.36	0.24
30	3.5	0.27	0.22	1.22	0.22
50	2	-0.26	-0.21	0.79	0.14
60	1.6	-0.46	-0.37	0.63	0.11
70	1.42	-0.64	-0.51	0.49	0.09
75	1.33	-0.72	-0.57	0.43	0.08
80	1.25	-0.81	-0.65	0.35	0.06
90	1.11	-0.98	-0.78	0.22	0.04
95	1.05	-1.08	-0.86	0.14	0.02
99	1.01	-1.17	-0.93	0.07	0.01
99.9	1	-1.20	-0.96	0.04	0.01

Напомена: \emptyset – Одступање ординате биноминалне асиметричне криве обезбеђености (учесталости) од средине (од 1.0) при $C_v=1.0$; C_v – коефицијент варијације; k_s – модулни коефицијент ординате; Q_{min} – вероватни минимални протицај.

Note: \emptyset – Deviation of the ordinate of the binomial asymmetric assurance (frequency) curve from the mean (from 1.0) at $C_v=1.0$; C_v – coefficient of variation; k_s – module coefficient of the ordinate; Q_{min} – probable minimum flow.



Сл. 3. Крива вероватноће појављивања минималних протицаја Злотске реке на хидролошком профилу Злот
 Fig. 3. Probability curve of occurrence of minimum flows of the Zlotska River on the Zlot hydrological profile

1 показују да се на Злотској реци код Злота могу очекивати увек мале воде изнад $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ (вредност која одговара вероватноћи појављивања од 99.9 %). Једном у 100 година може се очекивати минимални годишњи протицај од $0.67 \text{ m}^3/\text{s}$. Појава малих вода чија је вредност мања од 1 m^3 је честа, са вероватноћом непревазилажења од 0.1–99.9 %. Овакав режим малих вода може да доведе до знатних проблема у водопривреди, нарочито током летњих месеци.

Статистичка анализа великих вода

Највеће средњемесечне вредности великих вода јављају се у марту ($20.38 \text{ m}^3/\text{s}$), а најмање у августу ($2.28 \text{ m}^3/\text{s}$) (Сл. 2). Пролећне велике воде настају услед отапања снега који се у току зиме нагомилао у знатним количинама, нарочито у планинском делу слива. Апсолутно највиши протицај на овој хидролошкој станици у анализираном периоду регистрован је 31. јула 2014. године и износио је $78.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Однос најмање и највеће средњемесечне велике воде је 1:16.2, што указује да је у просеку варирање великих вода веће од варирања малих вода. По расположивим подацима, максимални годишњи протицаји на Злотској реци најчешће се јављају у марту (40 % случајева) и у априлу (22.9 % случајева), а потом у фебруару, децембру и новембру. У августу и октобру максимални годишњи протицаји нису ниједном забележени.

Према претходним подацима амплитуда екстремних вредности у Злоту је $78.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Однос између максималних и минималних протицаја показују да Злотска река има бујичне одлике.

Вредности вероватних великих вода Злотске реке анализирани су истом методом као и вредности вероватних малих вода. Одређени су следећи параметри: просечни максимални протицај $Q_{sr,max}=29.28 \text{ m}^3/\text{s}$, коефицијент варијације $C_v=0.538$ и коефицијент асиметрије $C_s=0.976$. На основу израчунатих параметара приступило се израчунавању података за израду саме криве (Таб. 2).

На основу криве вероватноће појављивања максималних протицаја на Злотској реци код

the Zlotska River near Zlot, you can always expect low water levels above $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ (a value that corresponds to a probability of occurrence of 99.9 %). Once in 100 years, a minimum annual flow of $0.67 \text{ m}^3/\text{s}$ can be expected. The occurrence of low water levels whose value is less than 1 m^3 is frequent, with a probability of not exceeding 0.1–99.9 %. This regime of low water level can lead to significant problems in water management, especially during the summer months.

Statistical Analysis of High Water Levels

The highest average monthly values of high water levels occur in March ($20.38 \text{ m}^3/\text{s}$), and the lowest in August ($2.28 \text{ m}^3/\text{s}$) (Fig. 2). High spring waters are caused by the melting of snow that accumulated in considerable quantities during the winter, especially in the mountainous part of the basin. The absolute highest flow at this hydrological station in the analyzed period was registered on July 31, 2014 and it was $78.6 \text{ m}^3/\text{s}$. The ratio of the smallest and largest mean monthly high water level is 1:16.2, which indicates that, on average, the variation of high water level is greater than the variation of low water level. According to the available data, the maximum annual flows on the Zlotska River most often occur in March (40 % of cases) and April (22.9 % of cases), and then in February, December and November. In August and October, the maximum annual flows were never recorded.

According to the previous data, the amplitude of extreme values in Zlot is $78.6 \text{ m}^3/\text{s}$. The relationship between the maximum and minimum flows shows that the Zlotska River has torrential characteristics.

The values of probable high waters of the Zlotska Reka were analyzed using the same method as the values of probable low water levels. The following parameters were determined: average maximum flow $Q_{sr,max}=29.28 \text{ m}^3/\text{s}$, coefficient of variation $C_v=0.538$ and coefficient of asymmetry $C_s=0.976$. Based on the calculated parameters, the calculation of the data for the creation of the curve itself was started (Tab. 2).

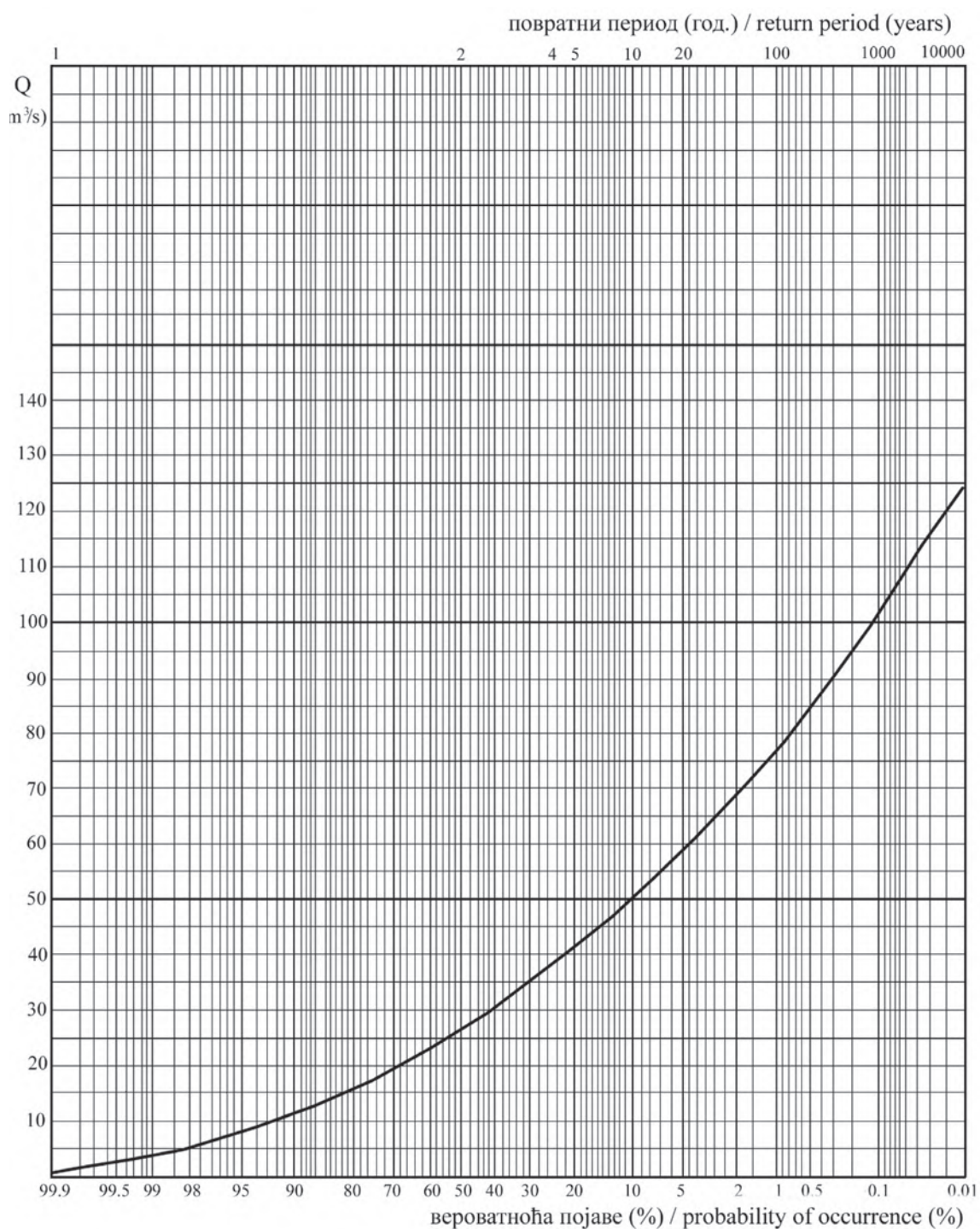
Based on the maximum flow probability curve on the Zlotska River near Zlot (Fig. 4), it

Таб. 2. Параметри за израчунавање криве обезбеђења максималних годишњих протицаја и израчунати вероватни максимални протицај Злотске реке код Злота
 Tab. 2. Parameters for calculating the maximum annual flow assurance curve and the calculated probable maximum flow of the Zlotska River near Zlot

Вероватноћа у % / Probability in %	Вероватноћа у годинама / Probability in years	\emptyset	$\emptyset \cdot C_v$	$k_s = \emptyset \cdot C_v + 1$	Q max
0.01	10000	5.96	3.21	4.21	123.17
0.1	1000	4.53	2.44	3.44	100.64
1	100	3.02	1.62	2.62	76.85
3	33.3	2.25	1.21	2.21	64.72
5	20	1.88	1.01	2.01	58.89
10	10	1.34	0.72	1.72	50.39
20	5	0.76	0.41	1.41	41.25
25	4	0.55	0.30	1.30	37.94
30	3.5	0.38	0.20	1.20	35.27
50	2	-0.16	-0.09	0.91	26.76
60	1.6	-0.39	-0.21	0.79	23.14
70	1.42	-0.62	-0.33	0.67	19.51
75	1.33	-0.73	-0.39	0.61	17.78
80	1.25	-0.85	-0.46	0.54	15.89
90	1.11	-1.13	-0.61	0.39	11.48
95	1.05	-1.32	-0.71	0.29	8.49
99	1.01	-1.59	-0.86	0.14	4.23
99.9	1	-1.79	-0.96	0.04	1.08

Напомена: \emptyset – Одступање ординате биноминалне асиметричне криве обезбеђењности (учесталости) од средине (од 1.0) при $C_v=1.0$; C_v – коефицијент варијације; k_s – модулни коефицијент ординате; Q_{min} – вероватни максимални протицај.

Note: \emptyset – Deviation of the ordinate of the binomial asymmetric assurance (frequency) curve from the mean (from 1.0) at $C_v=1.0$; C_v – coefficient of variation; k_s – module coefficient of the ordinate; Q_{min} – probable maximum flow.



Сл. 4. Крива вероватноће појављивања максималних протицаја Злотске реке на хидролошком профилу Злот

Fig. 4. Probability curve of occurrence of maximum flows of the Zlotska River on the Zlot hydrological profile

Злота (Сл. 4) закључује се да се сваке године може очекивати максимални протицај са вероватноћом 99.9 % од $1.08 \text{ m}^3/\text{s}$, а једном у 100 година од $76.85 \text{ m}^3/\text{s}$. Апсолутно максимални протицај који је у Злоту регистрован 31. јула 2014. године од $78.6 \text{ m}^3/\text{s}$ по овој вероватноћи јавља се једном у нешто више од 100 година.

ЗАКЉУЧАК

На основу података о протицају Злотске реке на профилу Злот у периоду 1981–2015. године одређен је средњемесечни и средњегодишњи протицај. Величина протицаја на Злотској реци у зависности је од расподеле падавина, времена отапања снега и испаравања. Просечна вредност средњегодишњег протицаја је $2.85 \text{ m}^3/\text{s}$. Најмањи средњемесечни протицај је у августу ($0.49 \text{ m}^3/\text{s}$), а највећи у априлу ($8.37 \text{ m}^3/\text{s}$). Амплитуда протицаја показује да је максимални средњемесечни протицај већи од минималног 14.5 пута, што указује на неуједначен режим протицаја. Режим малих вода једнак је режиму средњих вода и карактеришу га најниже средњемесечне вредности у августу ($0.23 \text{ m}^3/\text{s}$), а највише у априлу ($3.02 \text{ m}^3/\text{s}$). Највеће средњемесечне вредности великих вода јављају се у марту ($20.38 \text{ m}^3/\text{s}$), а најмање у августу ($2.28 \text{ m}^3/\text{s}$). Максимални годишњи протицаји на Злотској реци најчешће се јављају у марту (40 % случајева) и у априлу (22.9 % случајева), а у августу и октобру нису ниједном забележени. Амплитуда екстремних вредности у Злоту је $78.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Однос између максималних и минималних протицаја показују да Злотска река има бујичне одлике.

Урађена је прогноза обезбеђења воде у реци и добијени су максимални и минимални протицаји за вероватноће појаве од 0.01 % до 99.9 %. На основу добијених резултата конструисана је крива вероватноће појављивања малих и великих вода за хидролошки профил Злот на Злотској реци. Закључено је да се на анализираном профилу може очекивати максимални протицај са вероватноћом 50 % од $26.76 \text{ m}^3/\text{s}$. Мале воде се могу очекивати сваке године на Злотској реци изнад $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ (вред-

is concluded that every year the maximum flow can be expected with a probability of 99.9 % of $1.08 \text{ m}^3/\text{s}$, and once in 100 years of $76.85 \text{ m}^3/\text{s}$. The absolute maximum flow registered in Zlot on July 31, 2014 of $78.6 \text{ m}^3/\text{s}$ according to this probability occurs once in a little more than 100 years.

CONCLUSION

Based on data on the flow of the Zlotska river on the Zlot profile in the 1981–2015 periods the mean monthly and mean annual flows were determined. The amount of flow on the Zlotska River depends on the distribution of precipitation, time of snow melting and evaporation. The average value of the mean annual flow is $2.85 \text{ m}^3/\text{s}$. The lowest average monthly flow is in August ($0.49 \text{ m}^3/\text{s}$), and the highest in April ($8.37 \text{ m}^3/\text{s}$). The flow amplitude shows that the maximum mean monthly flow is 14.5 times higher than the minimum, which indicates a non-uniform flow regime. The regime of low water levels is equal to the regime of medium waters and is characterized by the lowest average monthly values in August ($0.23 \text{ m}^3/\text{s}$), and the highest in April ($3.02 \text{ m}^3/\text{s}$). The highest average monthly values of high water level occur in March ($20.38 \text{ m}^3/\text{s}$), and the lowest in August ($2.28 \text{ m}^3/\text{s}$). The maximum annual flows on the Zlotska River most often occur in March (40 % of cases) and April (22.9 % of cases), and in August and October they were not recorded even once. The amplitude of the extreme values in Zlot is $78.6 \text{ m}^3/\text{s}$. The ratio between the maximum and minimum flows shows that the Zlotska River has torrential characteristics.

A forecast of water supply in rivers was made and maximum and minimum flows were obtained for probabilities of occurrence from 0.01 % to 99.9 %. Based on the obtained results, a probability curve of the occurrence of low and high water level was constructed for the Zlot hydrological profile on the Zlotska River. It was concluded that the maximum flow with a probability of 50 % of $26.76 \text{ m}^3/\text{s}$ can be expected on the analyzed profile. Low waters can be expect-

ност која одговара вероватноћи појављивања од 99.9 %). Коефицијент варијације максималних годишњих протицаја износи 0.538, а коефицијент варијације минималних годишњих протицаја је 0.795, што указује на знатну променљивост годишњих максималних и минималних протицаја. Овакав режим малих и великих вода може да доведе до знатних проблема у водопривреди.

ed every year on the Zlotska River above 0.01 m³/s (a value corresponding to a probability of occurrence of 99.9 %). The coefficient of variation of maximum annual flows is 0.538, and the coefficient of variation of minimum annual flows is 0.795, which indicates considerable variability of annual maximum and minimum flows. This regime of low and high water levels can lead to significant problems in water management.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Basso, S., Schirmer, M., & Botter, B. (2015). On the Emergence of Heavy-Tailed Streamflow Distributions. *Advances in Water Resources*, 82, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.04.013>
- Bolgov, M., & Korobkina, E. (2013, June 3–7). *Applying the Log Pearson Type III Distribution for Modeling Annual Inflow to the Closed Lake*. Water & Environmental Dynamics, 6th International Conference on Water Resources and Environment Research, Koblenz, Germany.
- Blagojević, B., Mihailović, V., & Plavšić, J. (2014). Statistička analiza velikih voda na profilima hidroloških stanica: potreba za promenom pristupa. *Vodoprivreda*, 46, 199–209.
- Гавриловић, Љ. (1988). *Хидрологија у просторном планирању*. Природно математички факултет, Одсек за географију и просторно планирање.
- Gao, S., Liu, P., Pan, Z., Ming, B., Guo, S., Cheng, L., & Wang, J. (2019). Incorporating Reservoir Impacts into Flood Frequency Distribution Functions. *Journal of Hydrology*, 568, 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.061>
- Ђокић, М. (2015). *Нишава – потамолошка студија* [Необјављена докторска дисертација]. Универзитет у Нишу. Природно-математички факултет.
- Ђокић, М., Џивковић, Н., Голубовић, Н., Николић, М., & Драговић, Р. (2015). Hydrological Forecasts of Average, Low and High Waters in the Gaberska River Basin. *Serbian Journal of Geosciences*, 1(1), 11–19.
- Zhang, W., Cao, Y., Zhu, Y., Wu, Y., Ji, X., He, Y., Xu, Y., & Wang, W. (2017). Flood Frequency Analysis for Alterations of Extreme Maximum Water Levels in the Pearl River Delta. *Ocean Engineering*, 129, 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.11.013>
- Institution of Water and Environmental Management. (1987). *River Engineering – Part I, Design Principles*. Lavenham Press.
- Katz, R., Parlange, M., & Naveau, P. (2002). Statistics of Extremes in Hydrology. *Advances in Water Resources*, 25(8–12), 1287–1304. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00056-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00056-8)
- Лешчешен, И. (2019). *Протицајни режим великих вода Дунава, Саве, Тисе и Драве у Панонском басену* [Необјављена докторска дисертација]. Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департаман за географију, туризам и хотелијерство.
- Мартић Бурсаћ, Н., Стричевић, Љ., Николић, М., & Ивановић, Р. (2016). Статистичка анализа средњих, великих и малих вода реке Топлице. *Гласник Српског географског друштва*, 96(1), 26–45. <https://doi.org/10.2298/GSGD1601026M>
- Милијашевић, Д. (2010). Вероватноћа појаве великих вода на реци Ђетињи. *Гласник Српског географског друштва*, 90(2), 15–28.
- Милијашевић, П. Д. (2014). *Физичкогеографски фактори водног биланса и могућности одрживог коришћења водних ресурса у сливу Тимока*. [Необјављена

- докторска дисертација]. Универзитет у Београду, Географски факултет.
- Ристић, Р., Радић, Б., & Васиљевић, Н. (2009). Карактеристике великих вода на бујичним сливовима у Србији. *Гласник Српског географског друштва*, 89(4), 161–189.
- Saidi, M., Saouabe, T., Fels, A., Khalki, M., & Hadri, A. (2020). Hydro-Meteorological Characteristics and Occurrence Probability of Extreme Flood Events in Moroccan High Atlas. *Journal of Water and Climate Change*, 11(S1), 310–321. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.069>
- Sun, P., Wen, Q., Zhang, Q., Singh, V., Sun, Y., & Li, J. (2018). Nonstationarity-Based Evaluation of Flood Frequency and Flood Risk in the Huai River Basin, China. *Journal of Hydrology*, 567, 393–404. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.031>
- Урошев, М., Ковачевић–Мајкић, Ј., Штрбац, Д., Милановић Пешић, А., Милијашевић, Д., Јаковљевић, Д., & Петровић, А. (2017). Воде Србије. У М. Радовановић (Ур.), *Географија Србије* (стр. 160–235). Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ.
- Chen, B., Liu, G., Wang, L., Zhang, K., & Zhang, S. (2019). Determination of Water Level Design for an Estuarine City. *Journal of Oceanology and Limnology*, 37, 1186–1196. <https://doi.org/10.1007/s00343-019-8107-z>

Примљено / Received: 30. 03. 2023.

Исправљено / Revised: 08. 07. 2023.

Прихваћено / Accepted: 12. 07. 2023.